

# TRANSPORTE FRIGORÍFICO INTERNACIONAL de FRUTA. INTERMODALIDAD y SISTEMAS de TRANSPORTE INTELIGENTE

P. BARREIRO<sup>1</sup>; J.I. ROBLA<sup>2</sup>.

(1) Profesora Titular. (2) Investigador CSIC Dpto. Ingeniería Rural. ETSI Agrónomos. Madrid.

## Resumen

En el año 2001 la UE presentó el Libro Blanco del Transporte en el que se plantea la necesidad acuciante de fomentar los medios de transporte alternativos al transporte por carretera: transporte marítimo, ferroviario y fluvial, especialmente de cara a la ampliación europea. En este artículo se revisan los conceptos de Intermodalidad y Sistemas de Transporte Inteligentes tal y como los define la UE. Se presentan también los resultados de un seguimiento de transporte marítimo intercontinental llevado a cabo por investigadores australianos de cara a cuantificar el grado de cumplimiento de las especificaciones del transporte frigorífico de frutas frescas. Se apuntan también las necesidades expresadas por las empresas tecnológicas relacionadas con el transporte y las líneas de investigación actuales del LPF en este sentido.

**Palabras clave:** Conservación, Fruta, Sistemas de transporte inteligente, Transporte internacional.

## Abstract

**International cold transport of fruit. Intermodality and intelligent transport system.** The White Book on Transport was presented by the EU in 2001, emphasizing the need for developing alternative transport media from road transport. This fact is crucial within the perspective of EU-15. In this paper a special attention is paid on the concepts of Intermodality and Intelligent Transport Systems according to the definition of the EU. Recent results of an Australian research group related to the supervision of intercontinental fruit shipment are presented in order to bound the level of commitment of the specifications for cold storage and transport. In this paper, we present the needs expressed by the technological enterprises related to transport, and the ongoing research activities of LPF accordingly.

**Key words:** Cold storage, Fruit, Intelligent transport systems, International transport.

## Transporte de mercancías en la unión europea

El transporte de mercancías intracomunitario se efectúa en la actualidad en un 44% por carretera, en un 41% mediante navegación a corta distancia, un 8% en ferrocarril y un 4% empleando vías navegables. Destaca el retroceso sufrido por el ferrocarril como medio de transporte de mercancías que ha pasado del 21% del volumen total de mercancías transportadas en 1970, al 8% mencionado en la

actualidad. Esta evolución sorprende cuando se compara con cifras de Estados Unidos donde un 40% del transporte interior de mercancías utiliza el ferrocarril.

En el intercambio de mercancías entre la UE y el resto del mundo prevalece el transporte marítimo con un 70% del volumen total de dicho intercambio.



1.- Manejo de contenedores en el transporte intermodal (Foto: INTERFRIGO).

Estudios de la UE establecen que, si no se toman medidas de cara a la Europa de los 15, el tráfico de camiones se incrementará en un 50% en el 2010 respecto a cifras de 1998 con el consiguiente incremento de la congestión e inseguridad de las grandes vías terrestres, y de la contaminación asociada a este medio de transporte. En términos de eficacia energética un kilo de petró-



leo permite desplazar un kilómetro 50 toneladas para un camión, 97 toneladas para un vagón de ferrocarril y 127 toneladas en una vía de agua; en la actualidad el desplazamiento por carretera es responsable del 84% de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al transporte de mercancías.

El Libro Blanco del Transporte presenta las medidas previstas por la UE para mejorar la situación planteada: revitalización del ferrocarril, inclusión de una nueva tarificación por carretera, fomento del transporte marítimo y fluvial, materialización de la intermodalidad y configuración de una red transeuropea de transportes. En dicho documento se indican acciones concretas para cada medida, aunque en este artículo nos centraremos en los conceptos de intermodalidad (uso combinado de varios medios de transporte) y de sistemas de transporte inteligentes en su aplicación a frutas y hortalizas frescas.

## Transporte de frutas y hortalizas

El sector español de exportación de frutas y hortalizas mueve 9 millones de toneladas anuales. La mayor parte del desplazamiento se produce por carretera, exceptuando la exportación de plátano y tomate desde Canarias (700.000 tm anuales) o la reciente exportación de clementinas a Estados Unidos (100.000 tm anuales). El 70% de las exportaciones de frutas y hortalizas tiene como destino Alemania, Francia, Reino Unido y Holanda por este orden.

El consejero de agricultura, D. **José Álvarez Ramos**, manifiesta en un reciente artículo la preocupación de la administración española por el riesgo que supone la dependencia excesiva del transporte de productos perecederos por carretera sometido a eventualidades atmosféricas, a cortes voluntarios de tráfico y a la previsible eliminación de la exención para circular los fines de semana a los camiones de frutas, hortalizas y flores.

La administración española, en línea con las propuestas del Libro Blanco



2.- Empleo de cajas móviles en la transferencia de carga entre camiones y buques porta contenedores (Foto: Greatwhitefleet).

Europeo del Transporte se propone desviar una parte del transporte por carretera hacia el ferrocarril y el transporte marítimo y fluvial. Así, en el año 2003 se han abierto líneas marítimas de carga perecedera desde los puertos de Cartagena, Cádiz y Almería con destino al puerto de Rotterdam, para después distribuir al interior de Alemania por vía fluvial, y en barcos de cabotaje a los países bálticos y Rusia. Está prevista la apertura para 2004

de una línea de ferry diaria desde el Norte de España (Bilbao o Santander) a Dunkerke, otro gran nudo de la distribución.

El consejero de agricultura es consciente de la reticencia existente por parte de los exportadores que aducen la ventaja que supone la entrega puerta a puerta en el transporte por carretera, pero manifiesta que este hecho puede no ser tan

### CUADRO 1

Caracterización de la actividad fisiológica de cerezas, ciruelas y albaricoques. Recomendaciones para su almacenamiento y transporte frigorífico. Para calcular el calor emitido por respiración (Kcal/tm día) multiplicar la tasa de respiración en las unidades referidas por 122

	Caracterización de la actividad fisiológica			Recomendaciones de almacenamiento y conservación		
	Respiración (ml CO <sub>2</sub> /kgh)	Emisión etileno (µl/kgh)	Sensibilidad al etileno	T <sup>a</sup> (°C)	HR (%)	Atmósfera Controlada
Cereza	0°C: 3-5 10°C: 15-17 20°C: 22-28	<1 <1 <1	Minima	-0,5°C ±0,5	90 a 95%	3-10% O <sub>2</sub> daños <1% O <sub>2</sub> 10-15% CO <sub>2</sub> daños >30% CO <sub>2</sub>
Ciruela	0°C: 1,5 10°C: 4,2 0,04-60 20°C: 8,2 0,1-200	0,01-5	Elevada	-0,5°C ±0,5	90 a 95%	1-2% O <sub>2</sub> 3-5% CO <sub>2</sub> daños >17% CO <sub>2</sub>
Albaricoque	0°C: 2-4 10°C: 6-10 20°C: 15-25	<0,1 4-6	Elevada	-0,5°C ±0,5	90 a 95%	2-3% O <sub>2</sub> daños <1% O <sub>2</sub> 2-3% CO <sub>2</sub> daños >5% CO <sub>2</sub>

Fuente: Departamento de poscosecha de la Universidad de California, Davis.



relevante dado que el 90% de la mercancía pasa por operadores en destino con el fin de verificar calidades y realizar agrupaciones de cargas mixtas. En este mismo artículo, se indica que las hortalizas de hoja son las especies más sensibles a un eventual transporte por barco, y no los frutos de hueso como *a priori* podría pensarse, y aduce la existencia de un tráfico marítimo de fruta de hueso desde el cono sur, fundamentalmente Chile con una duración cercana a los meses sin merma de calidad.

Otra iniciativa reciente (2000) es el transporte de contenedores por barco en 12 horas entre el puerto de Barcelona y de Génova mediante el empleo de buques rápidos. Este tipo de experiencias demuestra la viabilidad de combinar las ventajas del transporte

(merma). Por otra parte la emisión de gases como el etileno, hormona de maduración de la fruta, influye en la carga circundante (efectos alelopáticos) favoreciendo un incremento de la respiración del conjunto.

En el *Cuadro 1* se ha incluido un resumen de la actividad fisiológica relativa a especies como el albaricoque, la ciruela o la cereza. En ella puede observarse que la tasa de respiración de estas especies es muy variable, 1,5 a 28 ml de CO<sub>2</sub> kg peso fresco y hora, en función de la cercanía al pico climatérico siendo la ciruela y el albaricoque las especies más sensibles a la presencia de etileno externo.

La temperatura óptima de conservación se sitúa entorno a 0°C. Fluctuaciones por debajo de -1°C pueden provocar daños por congelación, y exposiciones prolon-

a esa temperatura) superiores al 90% cuando nos aproximamos a la temperatura de congelación del agua: 0°C. Otra consecuencia de la variación de las propiedades psicrométricas de aire con la temperatura es la condensación. La condensación de agua sobre la superficie de la fruta es la consecuencia del contacto de aire con la fruta cuando éste está a mayor temperatura que el producto. La condensación de agua es un factor coadyuvante del desarrollo de hongos y microorganismos, y por tanto debe ser evitada. La condición necesaria para que se produzca condensación (temperatura aire mayor que la de la fruta) es tanto más probable cuanto mayor sea el gradiente de temperatura a lo largo de la carga.

Un procedimiento disponible para reducir la respiración de los frutos, adicional al control de temperatura, es la modificación de la composición de la atmósfera enriqueciéndola en dióxido de carbono (desde el 0,03% atmosférico hasta un 5%) y empobreciéndola en oxígeno (desde el habitual 21% hasta un 1%). En el *Cuadro 1* se indican los valores aconsejados para albaricoques, ciruela y cereza.

Es fundamental preenfriar los frutos antes de introducirlos en atmósfera controlada con el fin de evitar procesos de respiración anaeróbica que dan lugar a desórdenes internos y sabores extraños.

## Tecnología del transporte frigorífico

El objetivo de la tecnología del transporte frigorífico es alcanzar y mantener los valores de consigna mencionados en el apartado anterior maximizando la capacidad de carga de los contenedores y vehículos. Son aspectos a considerar: estiba, ventilación y renovación del aire, generación de frío, des-escarchado, modificación de la atmósfera y consumo de potencia.

El transporte de mercancías se realiza sobre producto paletizado con el fin de facilitar el movimiento de la carga por medios mecánicos. Existen dis-



3.- Ejemplo de sistemas comerciales de registro de temperatura y humedad relativa.

marítimo (descongestión del tráfico por carretera y disminución de la contaminación) con la flexibilidad del transporte por carretera.

## Aspectos clave en el transporte de frutas

Las frutas, ejemplo característico de los materiales vivos, mantienen su actividad fisiológica a lo largo de la cadena de distribución. Los frutos respiran consumiendo oxígeno del aire y azúcares internos, liberando al ambiente dióxido de carbono, vapor de agua y calor. Simultáneamente transpiran, como consecuencia de la diferencia entre el potencial de agua del fruto y del aire, exudando agua con la consiguiente pérdida de peso

gadas a temperaturas superiores a 3 °C favorecen en albaricoque y ciruela la aparición de desórdenes texturales internos como el pardeamiento y la harinosidad.

La humedad relativa recomendada en todos los casos se sitúa entre el 90 y el 95% con el fin de evitar la merma o pérdida de peso del producto por transpiración. La consecución de este objetivo está directamente relacionada con el control de temperatura ya que la máxima cantidad de agua que admite el aire a 0°C es de 3,8 g por kg aire seco, cantidad muy inferior a la del aire saturado de humedad a 20°C (14,7 g de agua por kg de aire seco). De ahí que estemos familiarizados con humedades relativas (humedad absoluta del aire dividido por la humedad a saturación



tintos tipos de bases paletizables: Europalet P8 (1.000 x 800), palet P10 (1.200 x 1.000 mm), CHEP (Commonwealth Handling Equipment Pool 1.160 x 1.160 mm) y el palet australiano o AUF (1.100 x 1.100 mm). La altura de la carga es de 1.800mm incluida la base del palet; situándose la estiba alrededor de los 250kg/m<sup>3</sup> de palet como valor orientativo. La capacidad de los distintos contenedores empleados en varios medios de transporte: marítimo (bucques porta contenedores), terrestre, ferroviario, aparece resumida en el *Cuadro 2*.

Existen distintos tipos de contenedores de acuerdo con sus características térmicas: isotermos, refrigerantes y frigoríficos. Los primeros están constituidos únicamente por paredes aislantes que limitan el intercambio de calor entre el exterior y el interior a menos de 0,7 W/m<sup>2</sup> K. En los contenedores de transporte refrigerante se emplea además una fuente de frío: hielo hídrico con o sin adición de sal, placas eutécticas, hielo carbónico con o sin control de sublimación, o gases licuados como el nitrógeno. Finalmente, en los medios de transporte

frigoríficos se dispone de un contenedor isotermo provisto de un equipo de producción de frío individual (autónomo o no) o colectivo. En el *Cuadro 2* se indica la capacidad de carga de distintos medios de transporte según las características térmicas del contenedor.

La ventilación del contenedor o vehículo tiene como finalidad homogeneizar las condiciones ambientales. La ventilación se expresa en volúmenes a la hora, considerándose adecuada una ventilación de 60 a 120 volúmenes por h al inicio de la carga y de 30 a 60 volúmenes por h tras la estabilización. La renovación del aire tie-

número de ventilaciones a la hora con el fin de disminuir las pérdidas de presión del aire que son proporcionales al cuadrado de la velocidad del aire, y que redundan en un incremento de temperatura del aire. Con este objetivo resulta interesante en los contenedores de gran longitud utilizar conductos que distribuyan longitudinalmente el aire sin necesidad de incrementar su velocidad a la salida del ventilador. Es muy importante seleccionar y llevar a efecto una correcta distribución de la carga, con el fin de conseguir pérdidas de presión homogéneas y una circulación de aire que se adapte a las características del producto y duración del transporte.

Los equipos de frío empleados en los contenedores frigoríficos están constituidos por un compresor (accionado por un motor eléctrico o diesel), un evaporador, un válvula de expansión y un condensador. El fluido refrigerante empleado es normalmente amoníaco para los transportes marítimos y CFC12 y R502 para el transporte terrestre. En los equipos terrestres más modernos se está incluyendo el refrigerante HFC134a respetuoso con la capa del ozono.

Uno de los problemas típicos de los equipos de frío es el escarchado del evaporador debido a la condensación y posterior congelación del agua en la superficie del mismo. Este efecto indeseable se ve potenciado por las necesidades de renovación de aire. La formación de escarcha en el evaporador limita la efectividad del equipo de frío y ha de

CUADRO 2

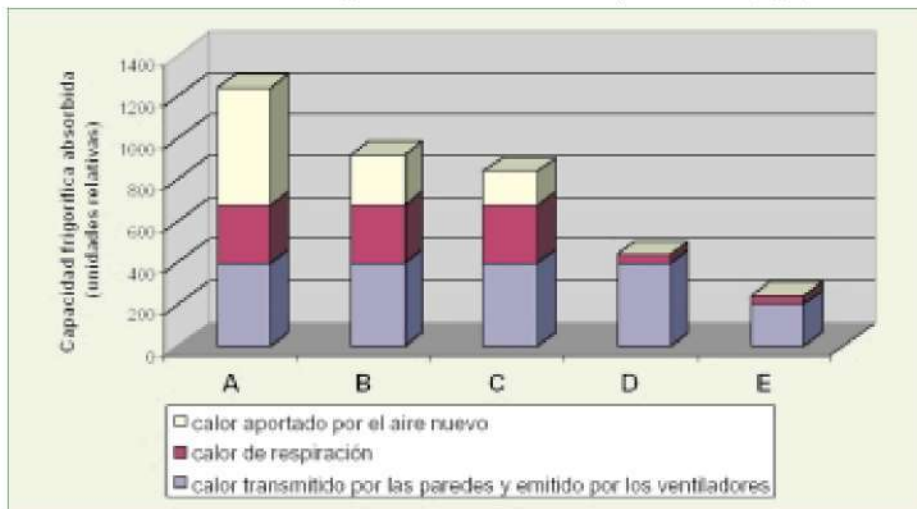
Capacidad de algunos contenedores frigoríficos de mercancías (equipo frío individual) empleados en varios medios de transporte. Las abreviaturas P8 y P10 refieren al tipo de palet: 1000x800mm ó 1200x1000 mm respectivamente

Uso	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Capacidad (nº palets)
Terrestre semirremolque	13,6	2,4	2,35	26P10; 32P8
Marítimo reefer 20	5,11	2,235	2,217	10P8; 9P10
reefer 40	11,237	2,239	2,173	23P8; 20P10
Ferrovial TGC	9,98	2,53	2,00	24P8; 18P10
	11,45	2,55	2,00	28P8; 22P10
SC	16,65	2,58	2,00	39P8; 30P10
	17,45	2,51	2,00	42P8; 34 P10
	17,75	2,46	2,00	44P8; 34 P10

Fuente: Instituto Internacional del frío.

GRÁFICO 1

Comparación de la capacidad frigorífica absorbida (unidades relativas) en distintas situaciones: A) empleo de atmósfera normal con admisión permanente de aire nuevo, B) admisión regulada de aire nuevo, C) atmósfera normal con admisión de aire preenfriado, y atmósferas controladas con ventilaciones de 90 y 60 volúmenes a la hora respectivamente (D y E)



Fuente: Instituto Internacional del Frío.



ser solventada con procedimientos de des-escarchado: ventilación sin producción de frío, empleo de salmueras templadas, paso de fluido refrigerante caliente, ó inversión del ciclo con gases calientes.

La modificación de la atmósfera de los contenedores se emplea únicamente en transportes de larga distancia, típicamente marítimos intercontinentales.

Existen procedimientos de modificación de la atmósfera pasivos y activos.

Cuando se emplea un procedimiento pasivo, el aire previamente modificado en su composición es inyectado en el contenedor una vez cargado y sellado, sin ser posteriormente corregida frente a eventuales cambios en su composición debido a la actividad fisiológica de la fruta, que se espera muy reducida. Los procedimientos activos por el contrario verifican de forma continua la composición del aire, corrigiéndola en su caso. Los procedimientos activos precisan un generador de nitrógeno, un controlador de oxígeno, absorbedores de dióxido de carbono y eventualmente etileno, así como un humidificador. En el transporte marítimo es frecuente emplear una sola unidad que controla simultáneamente la atmósfera de varios contenedores.

En el *Gráfico 1* se presentan los datos facilitados por el Instituto Internacional del Transporte relativos a la capacidad frigorífica absorbida en el empleo de atmósfera normal con admisión permanente de aire nuevo o admisión regulada de aire nuevo, atmósfera normal con admisión de aire preenfriado, y atmósferas controladas con ventilaciones de 90 y 60 volúmenes a la hora respectivamente. Aunque las unidades presentadas son relativas puede observarse que existe una proporción de 5 veces más necesidades de capacidad frigorífica para un transporte con atmósfera normal con admisión permanente de aire nuevo, respecto al caso de atmósfera controlada con ventilación de 60 volúmenes a la hora.



4.- Ejemplo de sistema comercial de gestión de flotas.

## Propuestas de la UE para el Transporte Intermodal

La Unión Europea ha creado el Programa Marco Polo, con una previsible dotación de 30 millones de euros, orientado al despegue de las operaciones intermodales. Este programa sustituye a otro previo denominado PACT (*Pilot Action for Combined Transport*) que ha estado vigente entre 1992 y diciembre de 2001. Los objetivos del programa Marco Polo pueden resumirse en: mejorar la accesibilidad de los puertos al ferrocarril y vías fluviales, fomentar la aparición de transitarios, reducir los costes de intermediación, crear grupos de armonización de procedimientos y difundir un código de buenas prácticas para el sector.

Uno de los aspectos fundamentales será la normalización de los contenedores y cajas móviles. Algunos contenedores marítimos en uso no permiten la colocación de dos plataformas normalizadas en anchura, y los contenedores de grandes dimensiones suponen problemas de seguridad en las carreteras europeas para las entregas finales. Los transportistas terrestres europeos han diseñado cajas móviles para intentar paliar estos problemas, que son más amplias que los contenedores tradicionales y se adaptan fácilmente a la transferencia entre ferrocarril y carretera (o viceversa), aunque son frá-

giles y no pueden superponerse. La elaboración de una propuesta de armonización es vital para garantizar el despegue definitivo del transporte intermodal.

## Experiencias de Supervisión de carga

Es práctica habitual en las empresas de transporte frigorífico internacional de envergadura incluir en los contenedores y vehículos un sistema de registro de la temperatura ambiente que puede estar dotado de una sonda para su colocación en el interior de la carga, y/o de un sensor de humedad relativa ambiental.

No es fácil encontrar estudios fiables que aborden la aparición de variaciones



espaciales (gradientes) de temperatura durante el transporte. Es más, las empresas nos vienen solicitando a los equipos de investigación una orientación clara acerca del número mínimo de sondas necesarias, y de los puntos críticos de control de este parámetro en el interior de los contenedores. Uno de los estudios más exhaustivos que se han llevado a cabo procede de Australia (TANNER y AMOS, 2001) y analiza mediante 664 termopares tipo K el transporte en 27 días entre Australia y Europa de 20 palets tipo P10 de kiwi en un contenedor tipo reefer 40 (equipo de frío individual y 40 pies de largo). La temperatura de consigna del contenedor durante el transporte fue de  $0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  similar a la mencionada para ciruelas, cerezas y albaricoques.

Los resultados de este estudio indican que pueden producirse gradientes de 7 a  $9^{\circ}\text{C}$  de temperatura en el aire del contenedor, y de 4 a  $6^{\circ}\text{C}$  dentro de los palets existiendo zonas fuera de especificación durante más del 70% del la duración del trayecto. Los aumentos de temperatura del aire están asociados con los periodos de des-escarchado del evaporador y con el paso del Ecuador.

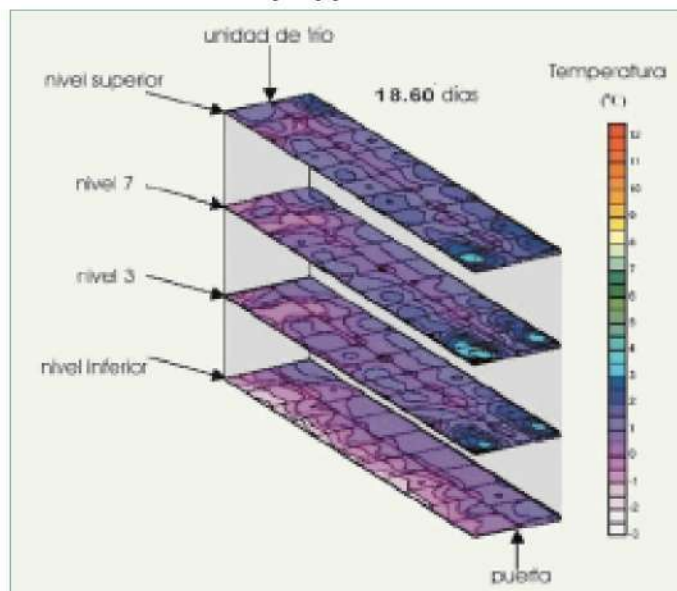
Un resultado importante es que pequeñas inhomogeneidades en la eliminación de la escarcha favorecen la aparición de variaciones en la distribución de velocidades y de temperatura del aire a la salida del evaporador. A su vez pequeñas variaciones en la estiba determinan flujos de aire inhomogéneos entre la carga. Los daños por congelación aparecen siempre en las zonas más bajas de los palets (mayor densidad del aire frío), y las zonas de máxima temperatura en las áreas longitudinalmente opuestas a la colocación del equipo de frío (máxima pérdida de presión en los codos).

## Sistemas de Transporte Inteligentes

La radionavegación por satélite es una tecnología que permite al usuario de un

### GRÁFICO 2

Variabilidad de la temperatura en el interior de un contenedor marítimo reefer 40 cargado con kiwi, día 18 de 27. El transporte con una temperatura de consigna de  $0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  se inicia en Sydney y termina en Róterdam



Fuente: Tanner y Amos (2001).

receptor recoger señales emitidas por varios satélites en constelación para determinar con elevada precisión y en todo momento, además de su hora exacta, su posición en términos de longitud, latitud y altitud. Esta tecnología desarrollada con fines militares la dominan los Estados Unidos con el sistema GPS, y Rusia con el sistema GLONASS. Como consecuencia, las señales pueden ser interrumpidas o deterioradas en cualquier momento para la defensa de intereses particulares de estos dos países. Por este motivo la Unión Europea ha presentado un programa autónomo de radionavegación por satélite denominado Galileo que lanzará una constelación de 30 satélites para cubrir la totalidad del globo, junto con emisoras terrestres locales que permitirán prestar servicios universales incluso en lugares cubiertos (túneles o aparcamientos subterráneos). Este sistema estará operativo en 2008.

Actualmente encontramos en el mercado sistemas comerciales de gestión de flotas marítimas y terrestres (Foto 4) que se basan en el empleo de la radionavegación por GPS. Se emplea generalmente un servidor de comunicaciones y otro de base de datos. El servidor de comunicaciones actúa como gestor de las redes de

telefonía empleadas (normalmente GSM-GPRS), del equipo frigorífico, del sistema de registro y del GPS. El servidor de base de datos debe registrar los datos de forma codificada para evitar la manipulación indebida de los registros.

El potencial de estos sistemas de transporte inteligentes se verá incrementado con la incorporación de nuevas tecnologías sensoras. El Laboratorio de Propiedades Físicas ETSIA-UPM, junto con el Laboratorio de Instrumentación y Sensores CENIM-CSIC se encuentra en la actualidad desarrollando dos proyectos de investigación (SENSOFRIGO Y SENSOGASES) que abordan la modelización climática de los contenedores, incluyendo la actividad fisiológica del producto, con el fin de determinar el posicionamiento óptimo de las sondas.

En estos proyectos se estudia también la integración de matrices de sensores de bajo coste con comunicación inalámbrica que permitan realizar una supervisión multi distribuida de la carga. Los resultados se presentarán en una segunda parte de este artículo.

## Bibliografía

- ALVAREZ RAMOS, J. 2003. El futuro del Transporte Intermodal en la exportación hortofrutícola española. Distribución y consumo julio-agosto 45-49
- BARREIRO, P; FABERO J.C; CASSASUS P.L; CALLES M; BIELZA C; CORREA, E.C; ALONSO R; RUIZ-ALTISENT M. 2002. Lattice Gas and Lattice Boltzman for spatio-temporal simulations of gases in fruit storage chambers. Acta Hort. (ISHS) 599:413-419
- Comisión de las Comunidades Europeas. 2001. Libro Blanco: La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad. [http://europa.eu.int/comm/off/white/index\\_es.htm](http://europa.eu.int/comm/off/white/index_es.htm)
- Instituto Internacional del Frío. 2002. Guía de Transporte frigorífico. Editorial Mundi--Prensa. ISBN 84 7114 898 6.
- TANNER, D.J. and AMOS, N.D. 2003. Temperature variability during shipment of fresh produce. Acta Hort. (ISHS) 599:193-203.